

Efecto del inhibidor de la nitrificación DMPP junto con el fraccionamiento del abonado nitrogenado en el cultivo del melocotonero temprano

A. Quiñones¹, I. Rodríguez-Carretero¹, J. M. Villar², A. Arbonés³, M. Pascual⁴, J. Rufat³

¹Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias – IVIA. Moncada (Valencia).

²Universitat de Lleida – UDL- Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo (Lleida).

³Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries – IRTA. Parc Científic i Tecnològic Agroalimentari de Lleida. Parc de Gardeny - Edifici Fruitcentre (Lleida).

⁴Universitat de Lleida – UDL- Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería (Lleida).

INTRODUCCIÓN

La producción de melocotón en España es la más relevante de Europa, concurriendo en el mercado con aproximadamente un tercio del total de producción de la UE (Europêch, 2020). En España, la región más destacada en cuanto a superficie y producción es el valle del Ebro, que supone más de la mitad de la superficie (56 %) y de la producción (60 %) (ESYRCE, 2019). Las ventajas competitivas de la producción española de esta fruta son reconocibles, entre otras, en la capacidad tecnológica del sector, su dimensión y un medio ecológico con algunas características muy favorables. Sin embargo, también aparecen algunos riesgos a los que debe prestarse una atención especial. Particularmente, el riego y la nutrición son dos factores imprescindibles en nuestro entorno productivo, que deben ser gestionados de manera efectiva para mitigar los efectos indeseables en los rendimientos, la calidad de la fruta y el impacto en el medio ambiente. En el campo de la nutrición, a día de hoy, se posee una amplia experiencia en las necesidades de nutrientes de este cultivo, si bien otros aspectos

de la planificación del abonado reciben aún poca atención, como son la periodificación del mismo en el transcurso de la campaña y la modificación de la dinámica del nitrógeno en el suelo.

Entre las diferentes posibilidades que existen para la mejora de la eficiencia de la fertilización nitrogenada, está la utilización de fertilizantes que dispongan de alguna herramienta que haga que el nitrógeno (N) que contienen sea disponible para los cultivos durante un tiempo mayor al de los fertilizantes convencionales. Entre estos fertilizantes cabe destacar aquellos que llevan incorporado, en su composición, inhibidores de la nitrificación (INs). Los INs son compuestos que retrasan la oxidación bacteriana del NH_4^+ a NO_2^- en el suelo durante un cierto período de tiempo, provocando que el N en el suelo permanezca en forma de NH_4^+ durante un cierto período de tiempo que, debido a su carga, queda fijado en el complejo arcillo-húmico del suelo. Las ventajas derivadas de la utilización de INs para la agricultura y el medio ambiente pueden ser una significativa reducción del riesgo de pérdidas por lixiviación de NO_3^- ; disminución de la emisión de óxidos de N a la atmósfera; menores

pérdidas de N e incremento del rendimiento de las plantas, al haber una mayor absorción del NH_4^+ por parte de los cultivos.

Por otro lado, con el objetivo también de mejorar la fertilización nitrogenada, el empleo de fertilizantes marcados con isótopos estables ayuda a conocer el destino, de forma exhaustiva, del fertilizante aplicado. Los isótopos son átomos de un mismo elemento con diferente número de neutrones (y por lo tanto diferente masa atómica) pero con propiedades químicas idénticas. Dentro de los isótopos estables (no radiactivos), el ^{15}N es el isótopo del N de mayor interés dentro de la eco-fisiología. La composición isotópica del N ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) se ha empleado para recabar información tanto en los ecosistemas naturales como agrarios, a través de la técnica de enriquecimiento en ^{15}N o dilución isotópica. Esta técnica se basa en la alteración intencionada de la abundancia isotópica del N en el sistema (que es de 0.366 % ^{15}N), comportándose como trazador. Así, el estudio de la variación en la abundancia isotópica de los distintos compartimentos del sistema permite identificar el recorrido y las transformaciones del compuesto adicionado.

OBJETIVOS

El objetivo general del ensayo es analizar el efecto del aporte del inhibidor de la nitrificación 3,4 DimetilPirazol Fosfato (DMPP) junto con diferente fraccionamiento o duración de la fertirrigación del abonado nitrogenado, sobre la absorción en los órganos jóvenes y su acumulación en los órganos de reserva de la parte aérea al final de la campaña del nitrógeno aplicado en el cultivo de melocotón temprano.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El ensayo se ha desarrollado en una parcela comercial de melocotón plano (*Prunus pérsica* (L.) Batsch. var. *platycarpa* (Decne.) L. H. Bailey cv. Samantha), localizada en Aitona (Lleida), con un marco de plantación de 4.5 m x 2.5 m (889 árboles·ha⁻¹) (**Fotografía 1**).

La fertirrigación se inició el 15 de mayo de 2018 con un fertilizante líquido NPK (1,5-0,5-2,5; pH 2.3) con un 100 % de N amoniacal. A los abonos se le añadió quelato de hierro (5 % Fe EDDHA) y un complejo de microelementos. Además, se suplementó el fósforo (P) y el potasio (K) para los tratamientos que recibieron una menor dosis equivalente por fertirrigación.

Se ha establecido la dosis de 50 kg N·ha⁻¹, dosis mucho menor a la recomendada (100 kg N·ha⁻¹) aplicada de la manera siguiente:

- Tratamiento 50: 50 UF aportadas en mayo y junio al 50 % de la dosis en cada una.
- Tratamiento 50s: dosis de 50 UF aplicada sin fraccionar, 100 % en mayo.

En 2018, la fertirrigación se aplicó hasta el 15 de junio (cosecha) para el tratamiento N50 y hasta el 3 de junio para N50s. Los tratamientos indicados se muestran en la **Tabla 1**, así como, las cantidades de N y de sulfato amónico aportados en cada uno de ellos.

Con el fin de analizar el efecto del inhibidor de la nitrificación, junto con los aportes de SA se aplicó DMPP al 1 % a la mitad de los árboles del ensayo.

Con el objetivo de evaluar las transformaciones químico-biológicas del N en el sistema planta-suelo, se recurrió al empleo del ¹⁵N como trazador. Para ello, el fertilizante formulado a base de sulfato amónico se aplicó, una parte, enriquecido al 99 % del isótopo estable ¹⁵N (Cambridge Isotope Laboratories, Inc., Andover- MA, USA). Siendo, la concentración final de ¹⁵N en exceso del 4.45 % de ¹⁵N en el período de abonado descrito.

La combinación de los dos factores anteriores (dosis N y aporte de DMPP) ha dado lugar a 4 tratamientos que se detallan en la **Tabla 2**. Cada tratamiento se repitió 4 veces con una planta por réplica.



Fotografía 1. Parcela de melocotón cv. Samantha en Aitona (Lleida).



Fotografía 2. Detalle del enmallado realizado para recoger las hojas caídas.

Tabla 1. Dosis de nitrógeno aplicado en cada uno de los tratamientos realizados.

Tratamiento	Dosis total		g N-SA · árbol ⁻¹			g SA · árbol ⁻¹		
	kg N·ha ⁻¹	Días	Mayo	Junio	Sep-Oct	Mayo	Junio	Sep-Oct
N50	50	30	28.13	28.13		132.59	132.59	
N50s	50	20	56.25			265.18		

Tabla 2. Tratamientos realizados.

Tratamientos	Dosis N/ha	g SA- ¹⁵ N/árbol ¹	mg ¹⁵ N/árbol
1 N50 DMPP	50	11.92	2528
2 N50 Sin	50	11.92	2528
3 N50s DMPP	50	11.92	2528
4 N50s Sin	50	11.92	2528

¹Cantidad de Sulfato amónico enriquecido al 99 % aplicado por árbol para conseguir un enriquecimiento del 4,45 %

Durante el ciclo de cultivo, los árboles se regaron mediante riego localizado a goteo con 5 goteros por árbol con una caudal de 1.6 L·h⁻¹. El agua de riego utilizada proviene del Canal de Aragón y Cataluña, y presenta una concentración muy reducida de nitratos ($\text{NO}_3^- < 2 \text{ ppm}$). Antes de la aplicación de los fertilizantes, se lavó el perfil del suelo utilizando el agua de riego sin incorporar el abonado previsto, para garantizar el lixiviado de todo el nitrógeno presente en el suelo en forma de nitrato hacia capas más profundas del perfil del suelo, no muestreadas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico se ha llevado a cabo utilizando el programa Statgraphics (Statgraphics Centurion for Windows, Statistical Graphics Corp.). Se ha realizado una ANOVA de dos vías, analizando el efecto de los dos factores

(fraccionamiento de N y aporte de DMPP) en cada una de las variables analizadas.

MUESTREOS Y ANÁLISIS REALIZADOS

Para cuantificar el N acumulado en los órganos sumideros principales (hojas y fruto) durante el ciclo vegetativo 2018, se muestrearon las hojas y los frutos en el momento de la recolección, separándose la pulpa del hueso. Las fracciones se secaron en estufa a 65 °C durante 72 h y se trituraron hasta su análisis posterior. El peso seco de las hojas se midió a través del peso de las hojas caídas al final del ciclo, recogidas de cada uno de los árboles marcados mediante redes (**Fotografía 2**).

Con el fin de contabilizar el efecto del inhibidor y de la pauta de aplicación del N sobre el acumulado en los órganos de reserva, al final de la campaña de 2018 (febrero 2019), se realizaron fotos para, mediante un

análisis alométrico del árbol, calcular la biomasa de los órganos de reserva de la parte aérea. En ese momento, se tomó muestra de la madera de la poda tanto de ramas de crecimiento anual como de más de un año.

Además, de los troncos y ramas de diámetro superior a 5 cm también se muestrearon mediante una barrena Pressler o "sacabocados" (**Tabla 3**).

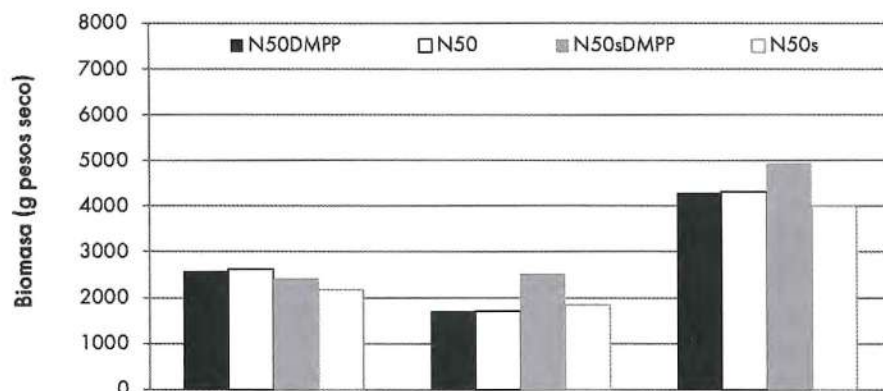
En todos estos órganos se ha analizado la concentración de N y el enriquecimiento de ^{15}N mediante un analizador elemental (NC 2500, Thermo Finigan) acoplado un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas (Delta Plus, Thermo Finigan). Los átomos ^{15}N en exceso se obtuvieron por diferencia del valor obtenido y de la abundancia natural de ^{15}N (0.366 átomos ^{15}N).

RESULTADOS OBTENIDOS

Nitrógeno absorbido por los órganos jóvenes en el ciclo de cultivo

Durante el primer ciclo de cultivo, un año después del trasplante, tan sólo aparecen diferencias significativas debidas al aporte del inhibidor de la nitrificación en la biomasa de los frutos de los árboles del tratamiento 50s, presentando una mayor producción con 50sDMPP (**Figura 1**).

En cuanto a la concentración y contenido de N (**Figura 2**), aparecieron diferencias significativas entre tratamientos, siendo los tratamientos que recibieron DMPP, los que presentaron una mayor absorción de N. Los órganos jóvenes de los tratamientos 50sDMPP (sin fraccionamiento y con DMPP) absorbieron una cantidad significativamente superior de N_{total} (procedente de las reservas de la planta, el fertilizante y la



ANOVA	Hojas	Fruto	Órganos jóvenes
Tratamientos ¹	NS	NS	NS
Fracc. N ²	NS	NS	NS
DMPP	NS	NS	NS

¹Anova Simple: diferencias entre medias de los tratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para un nivel de confianza del 95 % (test LSD).

²Anova Múltiple: diferencias entre medias debidas a los factores dosis de N y aporte de DMPP y su interacción.

* Diferencias entre medias estadísticamente significativas para $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; $p < 0.001$ (test LSD).

Figura 1. Biomasa (peso seco) de los órganos desarrollados durante el ciclo de cultivo

Tabla 3. Distribución de los muestreos realizados a lo largo del ciclo de cultivo.

Campaña	E	F	M	A	My	J	Jl	A	S	O	N	D
E. Fenol.												
2018							MF/R ¹	MPv ¹				H. caídas
2019		MTR ¹										

¹MF: muestreo foliar; R: recolección y muestreo de fruto; MPv: muestreo de la poda realizada en verano; MTR: muestreo de tronco y ramas de diferentes diámetros.

mineralización del N orgánico del suelo) a los del 50s, principalmente en el fruto.

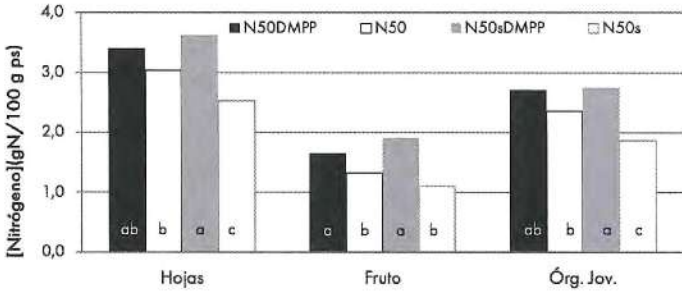
Esa misma pauta se observó en el enriquecimiento en 15N de los órganos jóvenes (datos no mostrados), así como en el N recuperado del fertilizante aplicado (**Figura 3**). Este parámetro nos informa de la proporción de N acumulado en los diferentes órganos proveniente del N aplicado con el fertilizante. En las hojas, se obtuvo un efecto del DMPP diferente entre tratamientos. De este modo, cuando la dosis se aplicó fraccionada (tratamientos N50), el inhibidor de la nitrificación originó una mayor eficiencia de absorción de N; mientras que, cuando el aporte se realizó sin fraccionar (N50s), la mayor asimilación se obtuvo en los árboles que no recibieron inhibidor. Sin embargo, en fruto y en el total de órganos jóvenes, al igual que con el N_{total} los árboles que recibieron DMPP presentaron una mayor eficiencia de absorción, siendo los árboles del tratamiento N50s DMPP los que presentaron un mayor porcentaje de N recuperado del fertilizante (22 % del N aplicado), sin diferencias significativas con N50DMPP y N50s. Esa mayor absorción se traducirá en una menor retención de N en el suelo, por lo que disminuirá el riesgo potencial de pérdidas de N por lixiviación.

Nitrógeno acumulado en los órganos de reserva de la parte aérea al final del ciclo de cultivo

En cuanto a los órganos de reserva, al inicio del ciclo vegetativo siguiente (febrero de 2019), aunque se observa una mayor biomasa en los tratamientos con fraccionamiento del abonado nitrogenado (**Figuras 4 y 5 superior**), no existen diferencias significativas entre tratamientos, ni en crecimiento vegetativo de estos órganos de reserva (ramas del año, de más de un año y tronco) ni en concentración de N, posiblemente debido a la dispersión entre los resultados obtenidos.

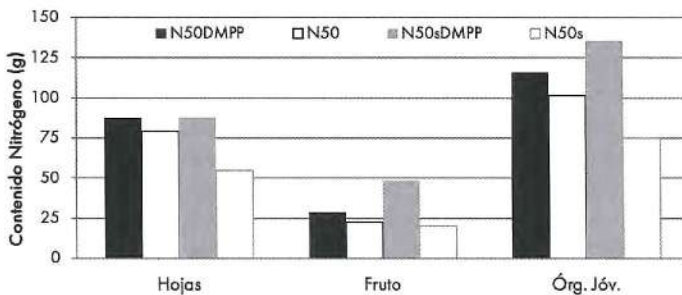
Por el contrario, el contenido de N en estos órganos sí se vio afectado por los factores realizados, de forma diferente en los órganos muestreados. Así, sin que se observen diferencias significativas en las ramas de ese año, las ramas de más de un año de los tratamientos N50 absorbieron más N, siendo mayor esa cantidad cuando no se aplicó DMPP; sin embargo, el tronco de los que recibieron DMPP presentó un mayor contenido de N. Este comportamiento dio lugar a un mayor contenido de N de los órganos de reserva de los árboles fertilizados con un mayor fraccionamiento del abonado nitrogenado (**Figura 5 inferior**).

Esta misma pauta descrita de absorción de N_{total} se repitió en el N procedente del fertilizante aplicado. De este modo, los árboles en los que el N se aportó fraccionado (N50), acumularon en sus órganos de reserva una mayor proporción del fertilizante aplicado que en los que no se fraccionó (N50s), independientemente del aporte del inhibidor. Alrededor de un 4 % del N aplicado se recuperó en estos órganos,



ANOVA	Hojas	Fruto	Órganos jóvenes
Tratamientos ¹	***	***	***
Fracc. N ²	NS	NS	NS
DMPP	***	***	**
N x DMPP	NS	NS	NS

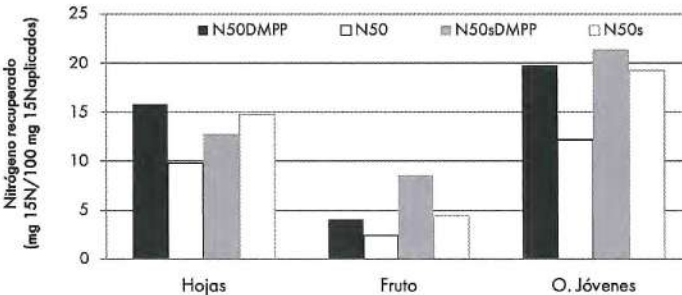
^{1,2} Ver Figura 1



ANOVA	Hojas	Fruto	Órganos jóvenes
Tratamientos ¹	NS	*	*
Fracc. N ²	NS	NS	NS
DMPP	NS	*	*
N x DMPP	NS	NS	NS

^{1,2} Ver Figura 1

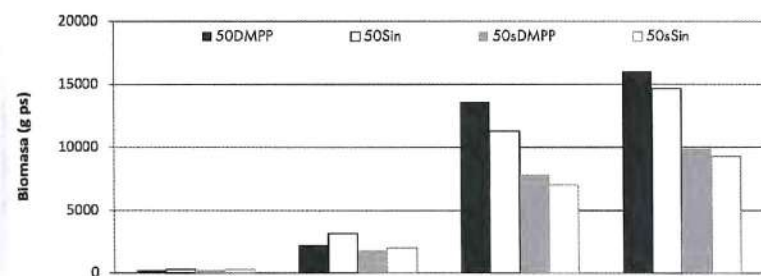
Figura 2. Concentración (%/peso seco) y contenido de nitrógeno (g) de los órganos desarrollados durante el ciclo de cultivo



ANOVA	Hojas	Fruto	Órganos jóvenes
Tratamientos ¹	NS	*	*
Fracc. N ²	NS	*	NS
DMPP	NS	*	*
N x DMPP	*	NS	NS

^{1,2} Ver Figura 1

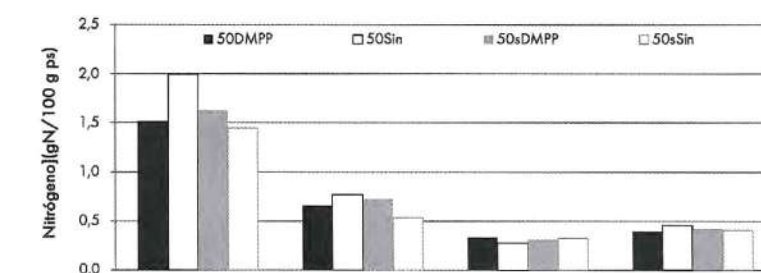
Figura 3. Eficiencia de uso del Nitrógeno procedente del fertilizante de los órganos desarrollados durante el ciclo de cultivo



ANOVA	Ramas < 1	Ramas > 1	Tronco	Reservas 18
Tratamientos ¹	NS	NS	NS	NS
Fracc. N ²	NS	NS	NS	NS
DMPP	NS	NS	NS	NS
N x DMPP	NS	NS	NS	NS

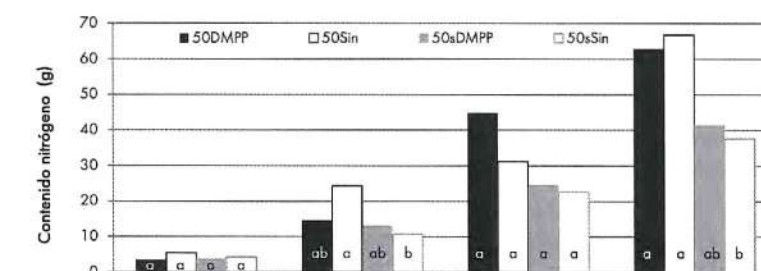
^{1,2} Ver Figura 1

Figura 4. Biomasa (peso seco) de los órganos de reserva de la parte aérea.



ANOVA	Ramas < 1	Ramas > 1	Tronco	Reservas 18
Tratamientos ¹	NS	NS	NS	NS
Fracc. N ²	NS	NS	NS	NS
DMPP	NS	NS	NS	NS
N x DMPP	NS	NS	NS	NS

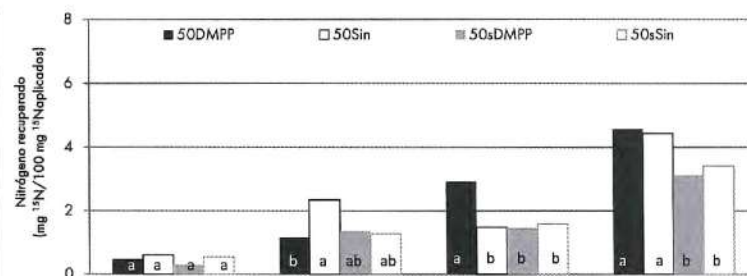
^{1,2} Ver Figura 1



ANOVA	Ramas < 1	Ramas > 1	Tronco	Reservas 18
Tratamientos ¹	NS	*	NS	*
Fracc. N ²	NS	*	NS	*
DMPP	NS	NS	*	NS
N x DMPP	NS	NS	NS	NS

^{1,2} Ver Figura 1

Figura 5. Concentración (%/peso seco) y contenido de nitrógeno (g) de los órganos de reserva de la parte aérea.



ANOVA	Ramas < 1	Ramas > 1	Tronco	Reservas 18
Tratamientos ¹	NS	*	*	*
Fracc. N ²	NS	NS	NS	* +50
DMPP	NS	NS	NS	NS
N x DMPP	NS	*	NS	*

^{1,2} Ver Figura 1

Figura 6. Eficiencia de uso del Nitrógeno procedente del fertilizante de los órganos de reserva de la parte aérea

parte del cual será translocado hacia los nuevos órganos en desarrollo en el siguiente ciclo de cultivo.

Es importante destacar, que una fracción muy importante del N aplicado absorbido por las plantas, se encontrará en el sistema radicular, principalmente en las raíces fibrosas. Que será el órgano principal de reserva del N.

CONCLUSIONES

En árboles de melocotón temprano con un año de injerto:

- Los órganos jóvenes (hojas y fruto) de la parte aérea absorben alrededor del 20 % del N aplicado, con mayores eficiencias de uso del N al incorporar el inhibidor de la nitrificación DMPP.
- El 4 % del N aplicado mediante la fertilización se acumula en los órganos de reserva de la parte aérea y serán fuente de N para la siguiente campaña. Este valor es superior cuando la dosis de N se aplica fraccionada.
- El inhibidor de la nitrificación da lugar a una mayor eficiencia de absorción de N en los órganos jóvenes.
- El fraccionamiento de la dosis de N afecta de forma significativa al contenido de N de los órganos de reserva presentan un mayor contenido de N. Parece, en principio, que esta práctica de abonado mejorará el estado nutritivo de las plantas para el siguiente ciclo de cultivo.

Se agradece a Israel Carrasco de la empresa EuroChem Agrolberia su estrecha participación en estos ensayos.